

УДК 621.317

М.В. Бойко, студент гр. ПМ-61, ст. викладач Толочко Т.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМЫ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЯГИ

Аннотация. Рассмотрено обоснование выбора формы упругих элементов первичных измерительных преобразователей тяги. Приведены и проанализированы конструкции и основные аналитические зависимости для первичных измерительных преобразователей тяги.

Ключевые слова: первичный измерительный преобразователь, конструкция, механический упругий преобразователь.

ВСТУПЛЕНИЕ

подавляющее большинство измерительных преобразователей усилий предназначены для работы в статическом режиме. Материалы по динамическим характеристикам преобразователей, методам и результатам их исследований и испытаний в импульсных режимах имеются в незначительном объеме. Конструкция первичных измерительных преобразователей тяги, предназначенных для работы в единично-импульсном режиме наряду с выбором материала упругих элементов имеют существенное влияние на статические и динамические характеристики, а также на способность измерительных преобразователей сохранять работоспособность в условиях воздействия вибраций.

ФОРМА УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЯГИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В ЕДИНИЧНО-ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

В качестве первичных преобразователей элементов датчиков усилий широкое распространение получили механические упругие преобразователи.

Если выходной величиной упругого элемента является деформация, то это предполагает, как правило, использование различного рода тензорезисторных преобразователей, если перемещение – то индуктивных, емкостный или реостатных преобразователей.

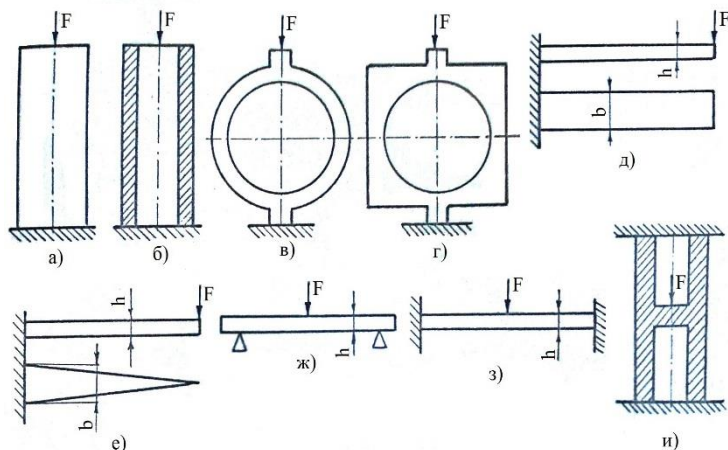


Рисунок 1. Основные виды преобразователей силы

К основным преобразователям силы относятся упругие элементы в виде сплошных и полых стержней (рис. 1. а, б), колец постоянного и переменного сечения (в, г), балок равного сечения и равного сопротивления (д, е), балок на двух опорах (ж), мембран постоянного сечения (з), специальных стержневых упругих элементов (и).

Для измерения деформации упругого элемента выбран фольговый тензорезистор с базой $L=20\text{мм}$ и шириной $b=10\text{мм}$.

Чувствительный элемент преобразователя должен обладать высокой прочностью и большим быстродействием, то есть иметь частоту собственных колебаний, позволяющую измерить усилие за период $0,06\text{ с}$.

Расчет собственной частоты упругого элемента, а также его чувствительности произведен для стали с модулем упругости $E_1=21000\text{кГс/мм}^2$ и для сплавов титана с модулем упругости $E_2=12000\text{кГс/мм}^2$, принимая значение относительной деформации равным $1\cdot 10^{-4}$ с коэффициентом запаса 1 [1, 2].

Результаты расчета собственных частот и чувствительности различных упругих элементов для усилий 30кГс и 600кГс , а также расчетные формулы и конструктивные параметры приведены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1.

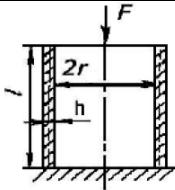
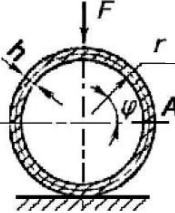
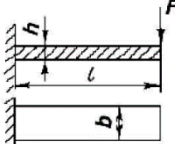
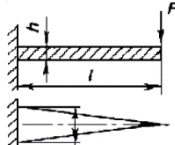
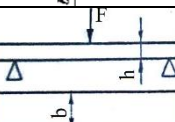
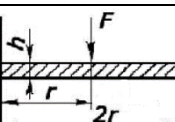
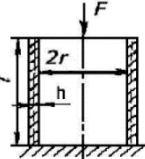
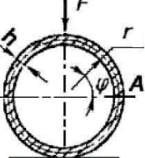
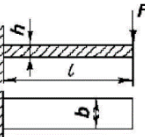
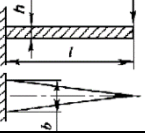
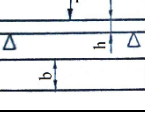
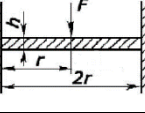
№ <i>n</i> / <i>n</i>	Упругий элемент	Собственная частота f_0 , Гц	Чувствительность по перемещению f' , мм/кГс	Чувствительность по деформации f'' , 1/кГс	Конструктивный коэффициент чувствительности, В
1		$\frac{0,249}{l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$\frac{l}{S_{cm} E}$	$\frac{B_{cm}}{S_{cm} E}$	1
2		$\frac{0,123}{r^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$\frac{1,83r^2}{Eh^3b}$	$\frac{B_{\kappa} r}{Eh^2b}$	0,71
3		$\frac{0,162 \cdot h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$\frac{4l^3}{Eh^3b}$	$\frac{B_{\delta} l}{Eh^2b}$	3
4		$\frac{0,316 \cdot h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$\frac{bl^3}{Eh^3b}$	$\frac{B_{\delta} l}{Eh^2b}$	6
5		$\frac{0,09 \cdot h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$\frac{l^3}{4Eh^3b}$		
6		$\frac{0,469h}{r^2} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}}$	$\frac{3(1-\mu^2)r^2}{4\pi Eh^3}$	$\frac{B_M}{Eh^2}$	0,47

Таблица 2.

№ n / n	Упругий элемент	Сила, кГс	Модуль упругости материала, кГс/мм ²	Конструктивные параметры				f_0 , Гц	f' , мм/кГс	f'' , 1/кГс
				l , мм	b , мм	h , мм	r , мм			
1		$P_1=30$	$E_1=21000$	30		0,65	3,18	430	$0,999 \cdot 10^{-4}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$
			$E_2=12000$			1,07		432	$1 \cdot 10^{-4}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$
		$P_2=600$	$E_1=21000$			6,87		430	$6 \cdot 10^{-6}$	$1,66 \cdot 10^{-7}$
			$E_2=12000$			9,83		432	$5 \cdot 10^{-6}$	$1,67 \cdot 10^{-7}$
2		$P_1=30$	$E_1=21000$		10	5,46	19,1	96	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$2,16 \cdot 10^{-6}$
			$E_2=12000$			7,21		126	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$2,16 \cdot 10^{-6}$
		$P_2=600$	$E_1=21000$			24,4		427	$4,16 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-7}$
			$E_2=12000$			32,24		565	$3,15 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-7}$
3		$P_1=30$	$E_1=21000$	25	20	7,28		97,9	$3,85 \cdot 10^{-4}$	$3,37 \cdot 10^{-6}$
			$E_2=12000$			9,63		129,8	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$3,37 \cdot 10^{-6}$
		$P_2=600$	$E_1=21000$			32,54		437,8	$4,32 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^{-7}$
			$E_2=12000$			43,04		580	$3,27 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^{-7}$
4		$P_1=30$	$E_1=21000$	25	20	7,28		191	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$6,74 \cdot 10^{-6}$
			$E_2=12000$			9,63		253,2	$4,37 \cdot 10^{-4}$	$6,74 \cdot 10^{-6}$
		$P_2=600$	$E_1=21000$			32,54		853,8	$6,48 \cdot 10^{-6}$	$3,38 \cdot 10^{-7}$
			$E_2=12000$			43,04		1131,5	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$3,38 \cdot 10^{-7}$
5		$P_1=30$	$E_1=21000$	40	20	9,26		27	$0,48 \cdot 10^{-4}$	
			$E_2=12000$			12,25		36	$0,36 \cdot 10^{-4}$	
		$P_2=600$	$E_1=21000$			41,4		121	$0,54 \cdot 10^{-6}$	
			$E_2=12000$			54,22		168	$0,42 \cdot 10^{-6}$	
6		$P_1=30$	$E_1=21000$			0,56	30	15,9	$530 \cdot 10^{-4}$	$71,3 \cdot 10^{-6}$
			$E_2=12000$			0,74		21	$400 \cdot 10^{-4}$	$71,5 \cdot 10^{-6}$
		$P_2=600$	$E_1=21000$			2,49		70,6	$600 \cdot 10^{-6}$	$36,2 \cdot 10^{-7}$
			$E_2=12000$			3,29		93,6	$460 \cdot 10^{-6}$	$36,2 \cdot 10^{-7}$

Сравнение значений собственных частот 166приведенных упругих элементов показывает, что 166меньше всего удовлетворяют требованиям к преобразователю по быстродействию балка на двух опорах и мембрана постоянного сечения.

У остальных четырех видов упругих элементов значения чувствительности – величины одного порядка, 166поэтому166 для выбора формы упругих элементов сравниваются рабочие напряжения, возникающие в наиболее опасных сечениях. Значения этих напряжений определяются для упругих элементов с выбранными ранее 166конструктивными параметрами при усилии 30кГс (см. табл. 3).

Таблица 3.

№ n/n	Упругий элемент	Модуль упругости материала, кГс/мм ²	Рабочее напряжение, кГс/мм ²
1	2	3	4
1	Стержень постоянного сечения	$E_1=21000$	$\sigma_{раб1} = 2,1$
		$E_2=12000$	$\sigma_{раб2} = 1,2$

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4
2	Кольцо постоянного сечения	$E_1=21000$	$\sigma_{внутр} = 2,36; \sigma_{нар} = -2,12$
		$E_2=12000$	$\sigma_{внутр} = 1,43; \sigma_{нар} = -1,0$
3	Консольная балка равного сечения	$E_1=21000$	$\sigma_{раб2} = 4,24$
		$E_2=12000$	$\sigma_{раб2} = 2,43$
4	Консольная балка равного сопротивления изгибу	$E_1=21000$	$\sigma_{раб2} = 4,24$
		$E_2=12000$	$\sigma_{раб2} = 2,43$

В табл. 3:

$$\sigma_{раб1} = \frac{F}{S} + \gamma \cdot l_1; \quad (1)$$

$$\sigma_{внутр} = \frac{0,5 \cdot F}{b \cdot h} \left[-3,82 \frac{r}{h} + \left(6 \frac{r}{h} + 1 \right) \cos \varphi \right]; \quad (2)$$

$$\sigma_{нар} = \frac{0,5 \cdot F}{b \cdot h} \left[3,82 \frac{r}{h} - \left(6 \frac{r}{h} - 1 \right) \cos \varphi \right]; \quad (3)$$

$$\sigma_{раб2} = \frac{6 \cdot F \cdot l_2}{b \cdot h}, \quad (4)$$

где F – прикладываемое усилие; S – площадь поперечного сечения; γ – удельный вес; l_1 – длина стержня; b – ширина кольца, балки; h – толщина кольца, балки; r – средний радиус кольца; l_2 – длина балки; φ – угол установки тензорезистора относительно образующей стержня.

Так как напряжения для балки равного сечения и для балки равного сопротивления изгибу практически в 2 раза больше рабочих напряжений, возникающих в стержне и кольце, выбираем формы упругого элемента в виде стержня постоянного сечения и кольца постоянного сечения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Осадчий, Е. П. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Е. П. Осадчий. — М. : Машиностроение, 1979. — 480 с.
2. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов / Н. М. Беляев. — М. : Наука, 1976. — 608 с.
3. Борисов, С. И. Расчет и конструирование механических систем приборов / С. И. Борисов. — М. : Машиностроение, 1981. — 269 с.

Наук. керівник – ст. викл. Толочко Т.О.